

УДК 004.49: 621.226

DOI: 10.12737/17149

П.В. Казаков, В.С. Казаков

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕМНОГО ГИДРОПРИВОДА НА ЭТАПЕ ЕГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВОЛЮЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Предложен подход к повышению качества проектирования объемного гидропривода посредством прогнозирования влияния его параметров на эксплуатационные характеристики. Для этого с использованием методов эволюционного моделирования синтезированы различные варианты конструкций гидропривода, отличающиеся значениями как конструктивных, так и эксплуатационных па-

раметров, анализ которых позволяет выбрать наиболее подходящий по условиям технического задания на проектирование и качеству эксплуатации вариант гидропривода.

Ключевые слова: объемный гидропривод, эксплуатационные характеристики, эволюционное моделирование, прогнозирование, оптимизация.

P.V. Kazakov, V.S. Kazakov

PERFORMANCE ASSESSMENT OF FLUID POWER DRIVE AT STAGE OF ITS DESIGN USING EVOLUTIONARY SIMULATION

In a number of engineering problems in the development of automated systems arises a necessity in the computation and design of a fluid power drive (FPD) in conformity with particular technological schemes for which there are no finished industrial products or it is necessary to carry out a sufficiently exact correspondence of operating characteristics with specified engineering data. In this case one does not carry out the selection of standard elements for a fluid power drive, but performs their designing, where there were used modern approaches and methods of the computer-aided design.

As operation results show, a designed fluid power drive in most cases cannot possess required for system functioning dynamic properties: performance, capacity for a decrement, sensitivity and so on. According to the investigations, they depend in many respects upon such characteristics of a hydro-system as static fluid of a hydro-cylinder and piping, time constant of transient and damping coefficient.

If we consider the process of FPD designing as a procedure of a parametric synthesis, then the research of its variants with different combinations of parameter values gives a possibility not only to choose

geometrical dimensions for a unit, but to estimate its potential operational functionalities.

At present time as one of the effective approaches in the realization of such a solution may be the application of methods for the evolutionary simulation, where each object analyzed is considered as an individual.

As an example of the evolutionary simulation there are considered the results of FPD servicing characteristics estimate computed on bases of design data for a fork-lift truck. The graphic dependences obtained establish the extreme correlations of hydraulic actuator operational characteristics which stipulate for a stable work of the fluid power drive in the transient behavior without special damping devices. Results of the evolutionary simulation allow analyzing the influence of parameters mentioned upon the damping coefficient changes and drawing a conclusion for decision making for the choice of such a design variant of a fluid power drive at which there would be ensured the best servicing characteristics of the plant.

Key words: fluid power drive, servicing characteristics, evolutionary simulation, forecasting, optimization.

Автоматизированные объемные гидравлические приводы, составляющие основу современных рабочих, транспортирующих, вспомогательных агрегатов и машин, широко применяются во многих областях техники и отраслях производства.

Гидропривод (ГП) является высокотехнологичной блочно-модульной системой, включающей стандартизованное и

унифицированное оборудование. Поэтому на каждом этапе его проектирования, в гидравлических схемах, расчетах, при выборе рабочих параметров и элементов конструкции, а также в терминологии используются существующие стандарты, технические условия, нормативные документы и рекомендации [1]. Анализ преимуществ и недостатков гидравлических приводов, ис-

пользование современных информационных материалов и компьютерных технологий позволяют технически грамотно решить задачу расчета и выбора типа гидропривода, а также основных его рабочих, регулирующих и вспомогательных элементов с помощью методов проектирования, основанных на применении искусственного интеллекта.

В ряде конструкторских задач возникает необходимость расчета и проектирования гидропривода применительно к конкретным технологическим схемам, для которых отсутствуют готовые промышленные изделия или требуется осуществить достаточно точное соответствие рабочих характеристик заданным техническим параметрам. В этом случае выполняется не подбор типовых элементов гидропривода, а их проектирование, где, как показывают практика и существующие методологии, широко могут быть использованы подходы и методы компьютерного моделирования.

Проектируемые установки и агрегаты гидропривода должны не только соответствовать количественным техническим нормам на разработку и изготовление, но и удовлетворять заданным условиям, выполнение которых позволяет оценить и спрогнозировать последующее качество их эксплуатации. Формально при проектировании ГП осуществляется выбор из справочных материалов номенклатуры подходящих элементов оборудования. При этом, как показывают результаты эксплуатации, спроектированный ГП в большинстве случаев может не обладать требующимися для функционирования системы динамическими свойствами: быстродействием, способностью демпфирования, чувствительностью и т.п. Согласно исследованиям ГП, они во многом зависят от таких характеристик гидросистемы, как статическая жесткость гидроцилиндра $C_{ц}$, постоянная времени переходного процесса T и коэффициент демпфирования ζ [2;3]. На них большое влияние оказывают конструктивные параметры ГП, в свою очередь зависящие от требований технического задания. К таким параметрам относятся диа-

метр и ход поршня силового цилиндра, величины действующего на шток усилия и приведенной к нему массы нагрузки, скорость перемещения выходного звена в режиме рабочего хода, размеры плунжера и окон гидрораспределителя и др. Диагностические расчеты динамических характеристик предлагаемых вариантов ГП представляют практический интерес, так как могут быть полезно использованы для прогнозирования эксплуатационных показателей разрабатываемого гидропривода.

Если рассматривать процесс проектирования ГП как процедуру параметрического синтеза, то исследование его вариантов с различными сочетаниями значений параметров дает возможность не только выбрать геометрические размеры агрегата, но и оценить его потенциальные эксплуатационные возможности. Основной сложностью в выполнении этого является автоматизация синтеза разных вариантов ГП с различными сочетаниями значений параметров. В настоящее время одним из эффективных подходов в реализации такого решения может быть использование методов эволюционного моделирования, где каждый исследуемый объект трактуется как индивид [4;5]. Его свойства описываются в виде хромосомы с набором генов, содержащих значения варьируемых технических параметров. Таковыми, например, можно полагать исходные и расчетные характеристики гидропривода, схема которого приведена на рис. 1.

Множество проектов гидропривода образует популяцию индивидов, которая итерационно изменяется с использованием операторов генетического алгоритма [4]. К ним относятся кроссинговер, мутация и отбор. В процессе кроссинговера пара индивидов обменивается значениями генов, что приводит к созданию нового индивида. Для снижения вероятности заполнения популяции похожими индивидами к ним регулярно применяется оператор мутации, случайно изменяющий значения одного или нескольких генов. Такое изменение популяции приводит к наполнению ее разными индивидами, оценка и выбор кото-

рых для дальнейшей эволюции выполняются с помощью оператора отбора. С каждым индивидом связано значение его пригодности, прямо влияющее на возможность сохранения индивида в последующих популяциях. В итоге члены популяции изменяются так, что в ней выделяются

индивиды, превосходящие остальные по выбранным критериям качества. В данном случае ими выступали высокая устойчивость ГП, определяемая коэффициентом демпфирования, и соответствие техническому заданию на проектирование по результатам поверочного расчета.

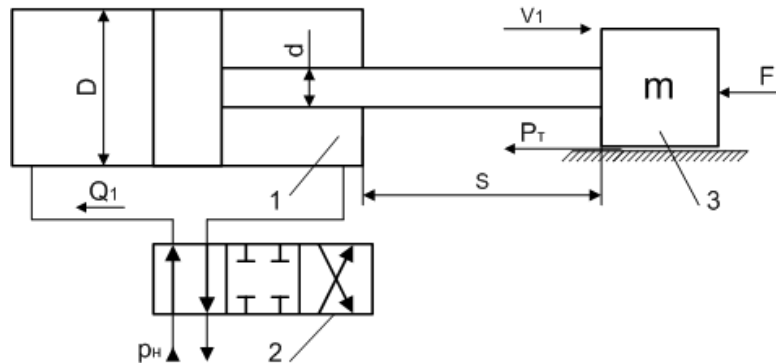


Рис. 1. Расчетная схема для оценки эксплуатационных характеристик ГП: 1 - силовой гидроцилиндр; 2 - гидрораспределитель; 3 - приведенная масса нагрузки m ; F - реализуемое усилие; P_t - приведенная сила трения; Q_1 и v_1 - расход жидкости и скорость поршня в режиме рабочего хода S ; p_n - номинальное давление в гидросистеме; D и d - диаметры соответственно поршня и штока

При математическом описании процесса моделирования и определении соответствующих аналитических зависимостей были использованы дифференциальное уравнение баланса реально действующих на гидроцилиндр сил, уравнение расходов, уравнение движения линейной модели гидроцилиндра, подробная формализация и исследование которых приведены в [2;3]. Полученные результаты расчетов достаточно хорошо согласуются с данными исследования эксплуатационных возможностей ГП для соответствующих исходных данных на проектирование.

Процедура эволюционного моделирования при оптимальном проектировании гидропривода включает следующие этапы:

1. Введение исходных данных для математической модели ГП, содержащих сведения о требованиях эксплуатации ГП, значениях его варьируемых параметров, возможных предпочтениях по конструктивным и эксплуатационным особенностям установки (ограничения по нагрузке, длине цилиндра, марке стали и др.). Здесь же указываются значения управляющих

параметров генетического алгоритма (размер популяции, вероятность кроссинговера, вероятность мутации и др.).

2. Формирование начальной популяции, определение пригодности каждого ее индивида, на итоговое значение которой большое влияние оказывают результаты поверочного расчета каждого варианта ГП с учетом выполнения условий прочности при сжатии и устойчивости штока гидроцилиндра [1;6]. На основе полученных при поверочном расчете действительных рабочих параметров ГП ($F_{расч}$, $v_{1расч}$) принимается решение о соответствии этого варианта его конструкции требованиям задания на проектирование. Если у данного варианта гидропривода нарушаются ограничения по прочности и устойчивости, то соответствующий ему индивид имеет наименьшую пригодность и, следовательно, малую вероятность дальнейшего участия в эволюционном моделировании.

3. Формирование новой популяции индивидов с использованием операторов кроссинговера и мутации. Для оценки пригодности новых формируемых индивидов

по известным зависимостям [2] вычисляется коэффициент демпфирования, зависящий от времени переходного процесса. Для определения этого показателя используются результаты промежуточной оценки индивидов в виде зависимости постоянной

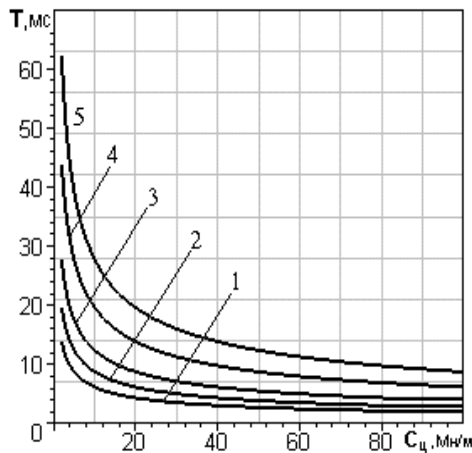


Рис. 2. Зависимость постоянной времени от жесткости гидроцилиндра: 1 - $m = 50$ кг; 2 - $m = 100$ кг; 3 - $m = 200$ кг; 4 - $m = 500$ кг; 5 - $m = 1000$ кг

4. Проверка условия окончания работы алгоритма. Выбор из популяции индивидов, имеющих наилучшую пригодность, т.е. максимальный коэффициент демпфирования и наилучшее соответствие исход-

времени T от величины жесткости гидроцилиндра $C_{ц}$ при различных комбинациях геометрических размеров, рабочего хода поршня (влияют на жесткость гидроцилиндра), приведенной массы, а также размера площади окна гидрораспределителя ω (рис. 2).

ным данным на проектирование. Для этого в результате эволюционного моделирования был определен набор ГП, реализующих требования технического задания, но отличающихся рядом параметров (геометрические размеры поршня, штока, ход штока, диапазон значений приведенной массы, с которыми возможна устойчивая работа ГП, и др.).

В качестве примера эволюционного моделирования рассмотрены результаты оценки эксплуатационных характеристик ГП, полученные на основе проектных данных для автопогрузчика [7]. Ниже в таблице показаны найденные варианты ГП для одного из возможных режимов его применения. Аналогичные исследования проводились и для других условий работы агрегата, отличающихся варьируемыми значениями проектных параметров (F , v_1 , S , m). Графические результаты расчетов представлены на рис. 3.

Таблица

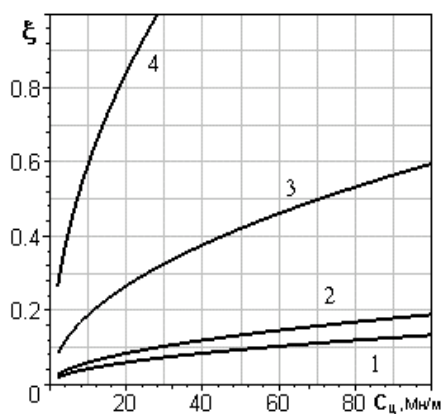
Результаты эволюционного моделирования при проектировании ГП автопогрузчика ($F = 10000$ Н, $v_1 = 0,1$ м/с, $S = 400$ мм, $m = 1000$ кг)

D, мм	d, мм	P_n , МПа	S, мм	ζ	$F_{расч}$, Н	v_1 расч, м/с	ω , мм ²
80	22	2,5	500	0,6758	10210	0,1	35,53
80	28	2,5	500	0,6304	10252	0,1	34,10
80	40	2,5	500	0,5313	10366	0,1	30,95
80	45	2,5	500	0,4878	10425	0,1	29,61
80	50	2,5	630	0,4076	10492	0,1	28,62
80	56	2,5	630	0,3723	10581	0,1	27,36
40	20	10	500	0,2658	10366	0,1	3,87
50	40	6,3	500	0,2469	10548	0,1	6,54

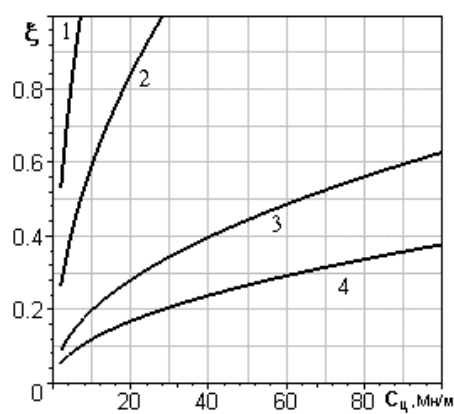
Построенные на рис. 3 кривые учитывают влияние на коэффициент демпфирования таких факторов, как статическая жесткость гидроцилиндра и сжимаемость рабочей жидкости, внешнее усилие, масса нагрузки и скорость рабочего хода (обобщенный параметр \mathcal{E}_k - кинетическая энер-

гия), геометрические размеры поршня, номинальное давление и жесткость трубопроводов, механические, гидравлические и объемные потери энергии, а также влияние характеристик дросселирующего гидрораспределителя.

Полученные графические зависимости устанавливают предельные соотношения рабочих параметров гидроцилиндра, которые обуславливают устойчивую работу гидропривода в переходных режимах без специальных демпфирующих устройств. Результаты эволюционного моделирования позволяют проанализировать влияние указанных выше параметров на изменение коэффициента демпфирования



а)



б)

Рис. 3. Изменение коэффициента демпфирования при различных исходных данных на проектирование ГП: а – $F = 10000$ Н (1 – $\mathcal{E}_k = 0,0025$ Дж; 2 – $\mathcal{E}_k = 0,005$ Дж; 3 – $\mathcal{E}_k = 0,05$ Дж; 4 – $\mathcal{E}_k = 0,5$ Дж); б – $\mathcal{E}_k = 0,5$ Дж (1 – $F = 2500$ Н; 2 – $F = 5000$ Н; 3 – $F = 10000$ Н; 4 – $F = 30000$ Н)

При одних и тех же нагрузках F с увеличением приведенной массы коэффициент демпфирования увеличивается, но темп его изменения также неодинаков.

Для исследованного диапазона изменения действующих усилий и приведенных масс увеличение скорости выходного звена сопровождается увеличением коэффициента демпфирования. Если сравнивать градиенты его изменения для различных скоростей, то они примерно одинаковы при различных массах в одном и том же диапазоне действующих сил. Но при больших усилиях и тех же изменениях скорости выходного звена и приведенных масс градиент увеличения коэффициента демпфирования растет.

Таким образом, на одной и той же действующей установке гидропривода посредством регулирующей аппаратуры, используя выбранные или установленные исходными данными на проектирование и техническими условиями эксплуатации предпочтения, можно:

- реализовывать меньшее усилие при

и сделать вывод для принятия решения об окончательном варианте ГП.

Так, уменьшение силы F (с 30 до 2,5 кН) сопровождается увеличением коэффициента демпфирования (с 0,023 до 0,68) независимо от величины приведенной инерционной массы (50...1000 кг). Однако при больших значениях массы темп прироста (градиент) коэффициента демпфирования снижается.

большем коэффициенте демпфирования;

- изменять скорость выходного звена, учитывая знак градиента изменения коэффициента демпфирования;

- определять такие предельные соотношения между реализуемым усилием, присоединенной массой, скоростью рабочего хода и известными размерами гидроцилиндра, при которых будет обеспечиваться надежная, устойчивая работа гидросистемы в переходном режиме.

При проектировании ГП, учитывая, что в результате расчетов инженер получает линейку соответствующих исходным данным конструктивных решений гидропривода, а также необходимость выполнения определенных техническим заданием условий функционирования системы, на основе разработанного алгоритма можно осуществлять выбор именно такого варианта конструкции гидропривода и его рабочих параметров, при которых будут обеспечиваться наилучшие эксплуатационные характеристики установки.

В общем случае оценка эксплуатационных характеристик ГП проектируемой

технической системы не ограничивается выбором лишь единичных определяющих прогнозируемых параметров. Процедура исследования по аналогичной схеме может быть расширена путем совершенствования математической модели одновременного рассмотрения дополнительных влияющих факторов [8]. Так, для задачи проектирования объемного гидропривода кроме чувствительности, демпфирования немаловажными являются, например, характеристики технической надежности (показате-

ли безотказности и долговечности), а также удельные энергетические, массогабаритные и стоимостные показатели установки. Такое решение задачи проектирования, включающей уже множество параметров оптимизации, в полной мере реализуется разработанным подходом, превращая на практике эволюционное моделирование в эффективный современный инструмент инженерного творчества на всех этапах жизненного цикла изделий машиностроения, от проекта до эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: справочник /В.К. Свешников. - М.: Машиностроение, 2008. -640 с.
2. Чупраков, Ю.И. Гидропривод и средства гидроавтоматики /Ю.И. Чупраков. - М.: Машиностроение, 1979. -232 с.
3. Лещенко, В.А. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением /В.А. Лещенко. - М.: Машиностроение, 1975. - 288 с.
4. Аверченков, В.И. Эволюционное моделирование и его применение: монография /В.И. Аверченков, П.В. Казаков. - Брянск: БГТУ, 2009. - 199 с.

1. Sveshnikov, V.K., Machining hydraulic drives/ V.K. Sveshnikov. –M.: *Mechanical Engineering*, 2008. pp. 640.
2. Chuprakov, Yu.I., Hydraulic drive and means of hydro-automated mechanisms/ Yu.I. Chuprakov. – M.: *Mechanical Engineering*, 1979. pp. 232.
3. Leshchenko, V.A., Hydraulic follower drives for numerical control machines/ V.A. Leshchenko. – M.: *Mechanical Engineering* , 1975. pp. 288.
4. Averchenkov, V.I., Evolutionary simulation and its use: *Monograph/ V.I. Averchenkov, P.V. Kazakov*. – Bryansk:BSTU, 2009. pp. – 199.
5. Serpik, I.N., Optimization of metal structures by means of evolutionary simulation: *Monograph/ I.N.*

5. Серпик, И.Н. Оптимизация металлических конструкций путем эволюционного моделирования: монография /И.Н. Серпик, А.В. Алексейцев. - М.: Изд-во АСВ, 2012. - 240 с.
6. Биргер, И.А. Расчет на прочность деталей машин: справочник /И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иоселевич. - М.: Машиностроение, 1993. - 640 с.
7. Навроцкий, К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов /К.Л. Навроцкий. - М.: Машиностроение, 1991. - 384 с.
8. Попов, Д.Н. Механика гидро- и пневмоприводов: учеб. для вузов /Д.Н. Попов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. - 320 с.

Serpik, A.V. Alexeitsev. – M.: Publishing House ASB, 2012. – pp. 240.

6. Birger, I.A., Stressing calculation of machinery: Reference Book./I.A. Birger, B.F. Shorr, G.B. Ioselevich. – M.: *Mechanical Engineering*, 1993. pp. 640.
7. Navrotsky, K.L., Theory and designing hydro- and pneumatic actuators / K.L. Navrotsky. – M.: *Mechanical Engineering* , 1991. – pp. 384.
8. Popov, L.N., *Mechanics of Hydraulic- and Pneumatic Actuators*: Textbook for Colleges/D.N. Popov. – M.: Publishing House of Bauman MSTU, 2001. pp.320.

Статья поступила в редколлегию 9.09.2015.
Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Аверченков В.И.

Сведения об авторах:

Казаков Валерий Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Брянского государственного технического университета, тел.: (4832) 58-82-07.

Kazakov Valery Sergeyeovich, Can.Eng., Assistant Prof. of the Dep. «Industrial Heat-and-Power Engineering» Bryansk State Technical University, Phone: (4832) 58-82-07.

Казаков Павел Валерьевич, к.т.н., доцент кафедры «Компьютерные технологии и системы» Брянского государственного технического университета, тел. (4832) 56-49-90, pvk_mail@list.ru.

Kazakov Pavel Valerievich, Can.Eng., Assistant Prof. of the Dep. «Computer Technologies and Systems» Bryansk State Technical University, Phone: (4832) 56-49-90, pvk_mail@list.ru.